Beitrag zur Kenntnis

der

Elektrisiermaschine.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt von

Emil Füllner

aus Söllingen.

Tag der mündlichen Prüfung: 10. März 1896.

Erlangen.

K. b. Hofbuchdruckerei von Aug. Vollrath.

1896.

Seinen Eltern

in

Dankbarkeit gewidmet.

Seinen Eltern

in

Dankbarkeit gewidmet.

Die Influenzmaschinen werden in neuester Zeit mehr und mehr zum Studium der elektrischen Erscheinungen benutzt. Besonders zur Untersuchung der mit schnellen elektrischen Schwingungen zusammenhängenden Probleme werden dieselben vorteilhaft verwendet.[1])

Beobachtungen über ihre Leistung sowie die Abhängigkeit derselben von Feuchtigkeit, Rotationsgeschwindigkeit sind bereits von verschiedenen Forschern wie Rosetti[2]), Mascart[3]), Riecke[4]), F. Kohlrausch[5]), Bouchotte[6]), K. F. Schmidt und Rühlmann[7]) angestellt worden.

Bei den Entladungen der Influenzmaschine treten Oscillationen auf. Die Dauer dieser Oscillationen ist jedoch abhängig von der Capacität sowie der Selbstinduktion des Leitersystemes. In solchen Stromkreisen, in denen elektrische Schwingungen vorhanden sind, ist deshalb die Kenntnis der Capacität der einzelnen Teile von besonderer Wichtigkeit. Über die Capacität der Influenzmaschine selbst liegen jedoch keine Messungen vor.

---

[1]) E. Wiedemann und H. Ebert, Sitzungsber. der Phys. Med. soc. Erlangen 1891. Töpler, Elektrotechn. Zeitschr. 3 p. 366, 1882. Beibl. 7, 33. Wied. Annalen 46, p. 306, 1892.

[2]) Rosetti, Pogg. Ann. 154, p. 507, 1875.

[3]) Mascart, Traité d'Electricité 2, p. 318, 1876.

[4]) Riecke, Wied. Ann. 13, p. 225, 1881.

[5]) Kohlrausch, Pogg. Ann. 135, p. 120, 1868.

[6]) Bouchotte, Compt. rend. 70, 1870.

[7]) K. F. Schmidt u. Rühlmann, Wied. Ann. 56 p. 157, 1895.

Auf Anregung des Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann versuchte ich eine Reihe von Capacitätsbestimmungen auszuführen.

Methode.[1])

Wird ein Kondensator n-mal in einer Sekunde geladen und entladen, und ist i die bei jeder Entladung am Galvanometer gemessene Stromstärke, so ist die hierbei abfliessende Elektricitätsmenge $E = \frac{i}{n}$. Da nun die Capacität eines Kondensators ausgedrückt wird durch die Formel $C = \frac{E}{P}$, wo E die Elektricitätsmenge und P das Potential bedeutet, so ist $C = \frac{i}{nP}$.

Mit Hülfe dieser Formel soll die Capacität der Maschine aus den einzelnen beobachteten Werten i, n, P in elektrostatischen Einheiten berechnet werden. Es wurde i mittels Spiegelgalvanometers n auf photographischen Wege und P mit einem Elektrometer bestimmt.

Das Galvanometer war ein Wiedemannsches Spiegelgalvanometer mit Ringmagnet. Die Rollen waren umwickelt mit 120 Windungen, gut durch Kautschuck isolierten, 1 mm starken Kupferdrahtes. Der Widerstand des Galvanometers ist mit der Wheatstoneschen Brücke bestimmt worden und betrug 1,53 Ohm. Die genügende Empfindlichkeit erreichte ich durch starkes Astasieren. Infolge der grossen Empfindlichkeit schaltete ich das Galvanometer bei der Aichung in einen Nebenschluss. Die Messung der Stromstärke im Hauptstromkreis geschah mittels eines Silbervoltameters. Eine Kontrollaichung, bei der die Stromstärke im Hauptstromkreis mittels eines sehr empfindlichen Milliampèrmeters, ge-

[1]) Vergl. E. Wiedemann und H. Ebert, Sitzungsber. der Phys. Med. soc. zu Erlangen 1891.

messen wurde, ergab gut übereinstimmende Werte. Wird der beobachtete Ausschlag mit m_g bezeichnet, so ist die Reduktionsformel auf absolute Stromeinheiten

$$i = 1{,}11 \cdot 10^3 \cdot m_g.$$

Der Abstand zwischen Scala nnd Spiegel betrug 1,30 Meter.

Zu den Potentialmessungen diente ein Heydweiller'sches Elektrometer[1]). Das Instrument ist eine Drehwage. In eine bifilar aufgehängte Kugel, sind zwei passend gebogene Arme eingeschraubt, die in kleinen Kugeln enden. Dieses System bildet den abzulenkenden Körper. Diese kleinen Kugeln sind zwei dicken Drahtringen gegenüber gestellt und zwar so, dass die beiden Kugeln auf den horizontalen Achsen der letzteren liegen. Da nun Ringe und Drehkörper auf dasselbe Potential gebracht werden, wird infolge der Abstossung der Schwingungskörper gedreht. Die Empfindlichkeit des Instrumentes ist abhängig von dem Gewicht des abzulenkenden Körpers. Ich benutzte einen leichten Schwingungskörper, sodass Potentiale von Funkenstrecken von 0,5 bis 3 mm gemessen werden konnten. Die Ablesung geschah mittels Spiegel und Scala und zwar war der Abstand der letzteren 1,70 m. Die Aichung geschah mit Hülfe des absoluten Elektrometers von Bichat-Blondlot[2]). Hierbei waren beide Elektrometer mit derselben Kugel eines Funkenmikrometers verbunden. Die andere Kugel desselben war zur Erde abgeleitet. Es wurde dann das Potential gleichzeitig mit beiden Instrumenten gemessen. Aus den beobachteten Werten m_e ergab sich die Reduktionsformel für die Potentiale in absoluten Einheiten

$$P = 1{,}342 \sqrt{m_e}$$

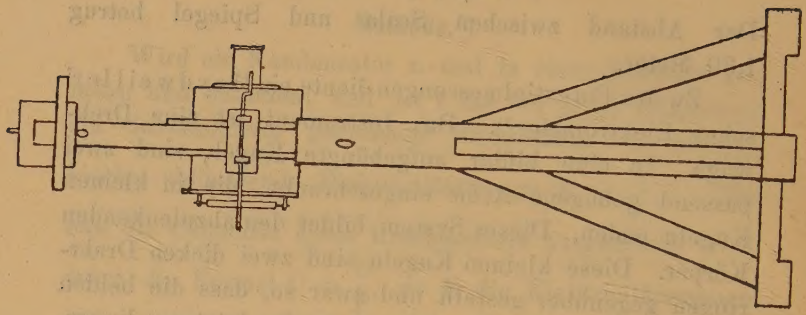
wenn mit m_e der Elektrometerausschlag bezeichnet wird.

---

[1]) Heydweiller, Zeitschrift für Instrumentenkunde 12, p. 377, 1892.

[2]) Bichat und Blondlot. Compt. rend. 102, p. 753.

Fig.II.



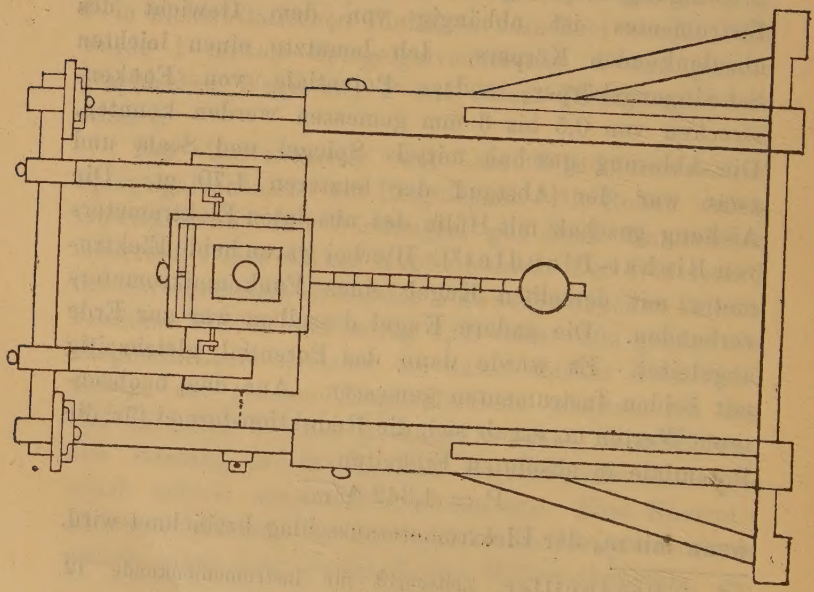
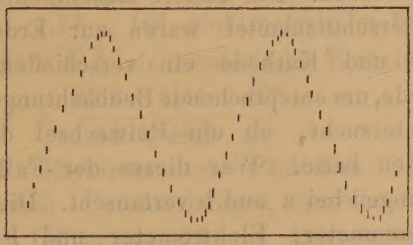


Fig. I.

Zur Bestimmung der Zahl der Entladungen wurde folgende Vorrichtung verwandt. Es zeigt Figur I die Vorderansicht Fig. II die Seitenansicht der Vorrichtung. An einem starken Doppelstativ war ein Rahmen, in dem eine photographische Camera eingeschraubt war, so aufgehängt, dass derselbe in eine pendelnde Bewegung versetzt werden konnte. Dieser Holzrahmen trug unten einen gezahnten Stab, an welchem ein schweres Gewicht befestigt war. Durch Verschieben dieses Gewichtes war es möglich die Schwingungsdauer der Camera zu variieren. An der Rückseite der Camera war statt der Mattscheibe ein Brett befestigt, welches um die Breite einer Casette nach rechts und links hervorragte. In der Mitte dieses Brettes waren, ausser der entsprechend grossen Öffnung zum Durchlassen der Lichtstrahlen oberhalb und unterhalb der ersteren zwei Gleitschienen angebracht. Zwischen diesen Schienen konnte eine kleine Schiebecasette bewegt werden. Mittels eines Fadens der um eine Kurbel gewickelt war, wurde die Bewegung der Casette herbeigeführt. Ein Vorwärts- und Rückwärtsverschieben des Apparates war durch die oben am Stativ angebrachten Verschiebungsvorrichtungen ermöglicht. Bei der Beobachtung wurde das Pendel mit der Camera in Schwingung versetzt und die geöffnete Casette an der Öffnung des Brettes langsam vorbeigezogen. Die photographische

Figur 3.

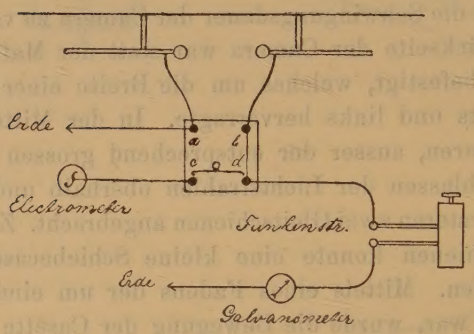


Aufnahme zeigte die Funkenbilder zu einer Sinuscurve auseinander gelegt. (Fig. 3.)

Mit Hülfe der ermittelten Schwingungsdauer des Pendels liess sich die Zahl der Entladungen in der Sekunde bestimmen.

Schaltung der Apparate.

Figur 4.



In einem Paraffinklotz waren 4 Quecksilbernäpfchen angebracht. Dieselben seien mit a b c d bezeichnet. Die Kathode der Maschine war mittels der Kontakte b und d mit der einen der Kugeln eines Funkenmikrometers verbunden. — Die andere Kugel war durch ein Galvanometer zur Erde abgeleitet worden. Das Elektrometer war mit c verbunden. Durch überlegen eines Kupferbügels konnte dasselbe beliebig ein- und ausgeschaltet werden. Der andere Maschinenpol sowie der Elektrometerschutzmantel waren zur Erde abgeleitet. Da Anode und Kathode ein verschiedenes Potential haben, wurde, um entsprechende Beobachtungsreihen zu erhalten, untersucht, ob ein Polwechsel der Maschine stattgefunden hatte. War dieses der Fall, so wurden die Zuleitungen bei a und b vertauscht. Die Zuleitungen zum Galvanometer, Elektrometer und Funkenstrecke waren gut isolierte Kupferdrähte von 1 mm Querschnitt.

Als Isolatoren dienten Paraffinklötze. Die Feuchtigkeit der Luft übte grossen Einfluss auf das Potential, sowie auf die Intensität aus. Bei trockener Luft erhielt ich dann auch für dieselbe Funkenstrecke grössere Elektrometer- und Galvanometerausschläge wie bei feuchter Luft. Es stimmen daher die Werte der einzelnen Beobachtungsreihen nicht ganz überein.

Beispiel einer Messung.

Der Verlauf der Beobachtung war der folgende. Die Influenzmaschine wurde durch einen Wassermotor gleichmässig in Rotation versetzt. War die Umdrehungsgeschwindigkeit nahezu konstant, so wurden die Ablesungen am Galvanometer sowie Elektrometer vorgenommen. Kleine Schwankungen in der Tourenzahl waren jedoch immer vorhanden. Da nun die Einstellungen auch nie ganz konstant waren, wurden mehrere Beobachtungen gemacht. Es wurde dann das Funkenbild photographiert und zum Schluss noch eine Reihe von Potential- und Intensitätsbestimmungen ausgeführt. In der folgenden Tabelle (Seite 12) sind die einzelnen beobachteten Werte einer Messung, und die Berechnung der Capacität aus denselben hier angeführt.

Schwingungsdauer der Camera $\frac{60}{48} = 1{,}25$ Sekunden.

Zahl der Funken pro Schwingung 81.

Zahl der Funken n pro Sekunde $\frac{51}{1{,}25} = 40$.

$i = 32{,}2 \cdot 1{,}11 \cdot 10^3$. elektrostatische Einheiten.

$P = 1{,}342\sqrt{48{,}5}$ elektrostatische Einheiten.

$$C = \frac{i}{n \cdot P} = \frac{32{,}2 \cdot 1{,}11 \cdot 10^3}{1{,}342\sqrt{48{,}5} \cdot 40}.$$

$C = 95{,}6$. Elektrostatische Einheiten.

Die ersten Untersuchungen wurden mit einer Holtz'schen Influenzmaschine 1. Art ausgeführt. Der Scheibendurchmesser betrug 40 cm. Ich setzte voraus,

	Beobachtung	Ruhelage	Einstellungen	Mittlere Einstellung	Ausschlag	Mittlerer Ausschlag
Galvanometer	Vor dem Photographieren	303,0	331,5 336,0 334,5 336,0 336,0	334,8	31,8	32,2
	Nach dem Photographieren	304,0	336,0 337,0 335,0 338,5 337,0	336,7	32,7	
Elektrometer	Vor dem Photographieren	0	48,0	—	—	48,5
	Nach dem Photographieren	0	49,0	—	—	

dass die Maschinencapacität eine mittlere sei, und nahm ferner an, dass die Scheibe die Hauptcapacität haben würde.

Ist a der Durchmesser einer kreisförmigen Scheibe, so ist nach Mascart[1]) deren Capacität:

$$C = \frac{2a}{\pi}.$$

Nach dieser Formel berechnete ich die Capacität der rotierenden Scheibe und fand 25,8 elektrostatische Einheiten. Eine vorläufige Bestimmung bei einer Funkenstrecke von 1 mm ergab jedoch bedeutend höhere Werte.

Funken pro Sekunde	i in absoluten Einheiten	P in aboluten Einheiten	Berechnete Capacität in absoluten Einheiten
46	41885	8,65	104,5
42	40950	8,65	112,5

Ich untersuchte zunächst die Capacität des Elektrometers. Vor jeder Messung beobachtete ich deswegen das Potential, schaltete das Elektrometer aus und nahm für den weiteren Verlauf der Beobachtung den ersten Wert als konstant an. Die Beobachtung ergab die folgenden Werte bei einer Funkenstrecke von 1 mm:

Beobachtung mit eingeschaltetem Elektrometer.

Funken pro Sekunde	i in absoluten Einheiten	P. in absoluten Einheiten	Berechnete Capacität in absoluten Einheiten
44	47034	10,6	100,4
44	51479	10,5	105,6

Beobachtung mit ausgeschaltetem Elektrometer.

Funken pro Sekunde	i in absoluten Einheiten	P in absoluten Einheiten	Berechnete Capacität in absoluten Einheiten
145	53586	11,4	32,3

[1]) Mascart. Statische Elektricität I, p. 292, Wien.

Beobachtung mit eingeschaltetem Elektrometer. Der Elektrometerschutzmantel war jedoch entfernt.

Funken pro Sekunde	i in absoluten Einheiten	P in absoluten Einheiten	Berechnete Capacität in absoluten Einheiten
49	45279	11,4	80,8

Wie diese Versuche zeigen, ist die Capacität des Elektrometers eine bedeutende; dieselbe beträgt nahezu 70 elektrostatische Einheiten, der Schutzmantel erhöht die Elektrometer-Capacität um 20 elektrostatische Einheiten. Bei verschiedenen, späteren Versuchen wurde denn auch während der Beobachtung das Elektrometer ausgeschaltet.

Um nun genaue Werte für die Maschinen-Capacität zu ermitteln, wurden Kondensatoren mittelgrosser Capacität und zwar Platten-Kondensatoren nach Kohlrausch an die Maschine geschaltet. Man sollte nun meinen, dass die zugeschalteten Capacitäten sich zur Maschinencapacität addieren würden. Der berechnete Wert aus den einzelnen beobachteten Grössen ist dann die Summe der Elektrometer-Maschinen- und Kondensatorcapacität. Die letztere wurde nach der bekannten Formel

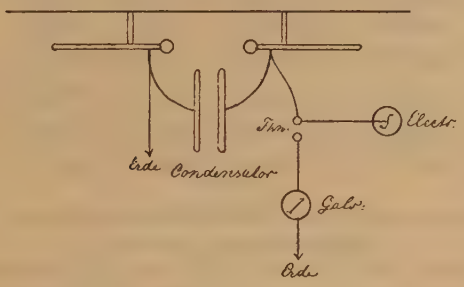
$$C = \frac{O}{4\pi d}$$

berechnet, wo O die Oberfläche und d den Plattenabstand bedeutet. — Nach Abzug dieses berechneten, sowie des für das Elektrometer gefundenen Wertes von dem experimentell bestimmten, konnte die Maschinencapacität berechnet werden.

Nachstehende Figur zeigt das Schaltungsschema. Der negative Pol der Maschine ist mit der einen Platte des Kondensators verbunden, die andere Platte nebst dem positiven Maschinenpol zur Erde abgeleitet. Der negative Maschinenpol ist ferner mit einer der Kugeln

der Funkenstrecke, sowie mit dem Elektrometer verbunden. Die andere Kugel des Funkenmikrometers ist durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet.

Figur 5.



In den folgenden Tabellen sind die beobachteten Grössen, sowie die aus ihnen berechneten Werte für die Capacität der Maschine angegeben:

Funkenstrecke 1 mm.

Funken pro Sekunde	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Angehängte Capacität	Berechnete Capacität	Maschinen-Capacität
55	48320	9,42	0	93,2	23,2
49	55222	8,87	6,2	127,0	51,2
24	49724	8,35	81,0	248,1	97,1

Funkenstrecke 1 mm.

Funken pro Sekunde	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Angehängte Capacität	Berechnete Capacität	Maschinen-Capacität
48	45864	9,40	0	101,6	31,6
26	45512	8,92	43,8	192,8	79,0
20	45512	8,76	81,0	259,7	108,7
18	51946	8,37	124,8	344,1	149,3

Funkenstrecke 1 mm.

Funken pro Sekunde	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Angehängte Capacität	Berechnete Capacität	Maschinen-Capacität
32	43644	10,11	2,5	135,0	62,5
33	46097	9,98	5,4	139,8	64,4
32	44927	9,55	11,6	147,1	65,5
30	47736	9,43	23,1	168,7	75,6
20	46565	9,45	81,0	246,9	95,9
12	48789	9,64	162,0	414,3	182,3

Funkenstrecke 1,5 mm.

Funken pro Sekunde	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	An gehängte Capacität	Berechnete Capacität	Maschinen-Capacität
35	57650	11,6	0	142,6	72,6
26	56020	12,2	6,75	178,4	101,7
24	56909	12,2	13,5	194,9	111,4
21	56169	12,2	27,0	218,7	121,7
13	61503	11,4	81	415,8	164,8

Wie aus diesen Tabellen ersichtlich ist, fand eine Addition der angehängten Capacität zur Maschinen-Capacität nicht statt. Die Funkenzahl nimmt mit wachsender Capacität bei konstanter Stromintensität ab. Stromintensität und Potential sind während einer Beobachtungsreihe nahezu konstant. — Dass die hier gemessene Potentiale niedriger sind wie die angegebenen Entladungspotentiale in der Tabelle von Heydweiller[1]), rührt daher, dass nicht das Entladungspotential jedes einzelnen Funkens bestimmt wurde, sondern die Beobachtung bei continuierlichem Funkenstrom geschah.

[1]) A. Heydweiller. Hilfsbuch für elektrische Messungen. Leipzig, Ambr. Barth.

Bei allen vorigen Versuchen war die Grösse der Funkenstrecke dieselbe. Es wurde nun untersucht, ob durch Vergrösserung derselben eine Änderung der Maschinencapacität stattfindet. Ich führte Capacitätsbestimmungen bei Funkenstrecken von 1, 1,5 und 2 mm aus. Die erhaltenen Werte sind die folgenden:

Grösse der Funkenstrecke	Funken-Zahl	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Berechnete Capacität
1 mm	44	40839	9,39	98,3
	43	39996	9,90	93,7
1,5 mm	34	38960	12,5	91,5
2 mm	24	39194	16,1	101,7

Wie aus den Zahlen ersichtlich ist, blieb die Maschinencapacität ziemlich konstant bei verschieden grosser Funkenstrecke, d. h. bei veränderten Potential. Bei Vergrösserung der Tourenzahl der Maschine steigt wohl die Stromintensität und Funkenzahl, die Capacität jedoch bleibt nahezu konstant; es zeigt dieses die folgende Tabelle:

Touren-Zahl	Funken-Zahl	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Capacität berechnet	$\frac{i}{N}$
133	32	31590	9,4	105,0	987
164	40	38727	9,4	103,5	968
244	49	45636	9,1	102,1	931

Wie aus den vorigen Versuchen hervorgeht, war die Capacität unabhängig von Stromintensität und Potential. Die Art der Entladung könnte jedoch von Einfluss auf dieselbe sein. Die Art der Entladung ist nun abhängig von dem Widerstand, der Selbstinduktion und der Capacität des Stromkreises. Wenn sich nun der Teil

der rotierenden Scheibe, welcher sich vor den Spitzen befindet, entladen hat, ist es möglich, dass noch Elektricität von den Belegen der festen Scheibe nachströmt. Je nach der Grösse der Oscillationdauer und der Dauer jeder Entladung wird dann mehr oder weniger Elektricität nachströmen. Eine angehängte Capacität sowie eine eingeschaltete Selbstinduktion vergrössern die Oscillationsdauer. Infolge des Nachströmens der Elektricität könnte dann die Messung eine erhöhte Maschinencapacität ergeben. Es könnte dieses der Grund sein, dass die vorigen Messungen eine Addition der angehängten Capacität zur Maschinencapacität nicht zeigten.

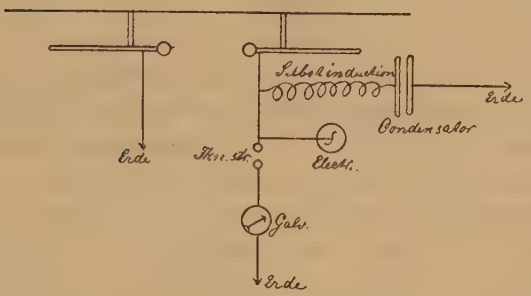
Ich suchte deshalb die Oscillationsdauer zu verändern, indem ich zwischen Maschine und Funkenstrecke abwechselnd einen grossen Widerstand, sowie eine Rolle mit grosser Selbstinduktion einschaltete. Ferner variierte ich das Experiment durch Anhängen eines Kondensators. Das Elektrometer wurde bei diesen Versuchen ausgeschaltet und das vorherbestimmte Potential für den weiteren Verlauf der Messung als bekannt angenommen. Es geschah dieses, damit die Beobachtung nicht von der Elektrometercapacität beeinflusst werden konnte. Der Wert der benutzten Selbstinduktion lag zwischen 27.10^6 und 25.10^6 absoluten Einheiten. Derselbe war rechnerisch und experimentell ermittelt worden. Der Widerstand betrug $0{,}16.10^8$. Ohm, die Capacität des Plattenkondensators 21,2 elektrostatische Einheiten.

Zuerst bestimmte ich die Maschinencapacität, ohne dass zwischen Maschine und Funkenstrecke ein Widerstand oder Selbstinduktion geschaltet war. Die Funkenstrecke war abwechselnd mit der Kathode und Anode der Maschine verbunden; es zeigte sich jedoch kein Unterschied. Die Potentiale sind ja in diesem Fall verschieden, jedoch haben dieselben keinen Einfluss auf die Capacität. Die einzelnen erhaltenen Werte sind die folgenden:

	Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Berechnete Capacität
Kathode	189	87	120,0	52,0	44,9
	178	64	146,5	46,5	49,7
Anode	188	66	141,0	51,7	36,0
	157	64	133	40,0	44,8

Es wurden dann die folgenden Versuche angestellt:

Figur 6.



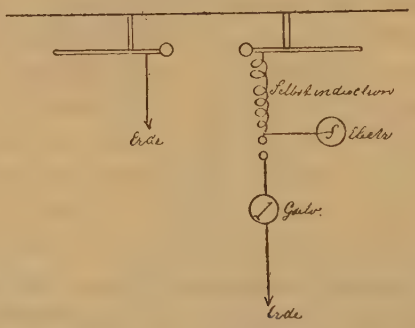
Der negative Maschinenpol war mit einer der Kugeln der Funkenstrecke verbunden, der andere zur Erde abgeleitet. Die eine Platte des Kondensators war durch eine Rolle von grosser Selbstinduktion mit der isolierten Elektrode des Funkenmikrometers verbunden. Die andere Elektrode war durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet, ebenso die Platte des Kondensators. Die Beobachtung ergab:

Funken-Zahl	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Touren-Zahl	Capacität berechnet
27	161,2	42	161	109,2

Bei dieser Versuchsanordnung vergrössert die Selbstinduktion die Oscillationsdauer der Schwingungen, welche bei dem Entladen des Kondensators auftreten. Die Os-

cillationsdauer der Schwingungen, welche von der Influenzmaschine herrühren, wird jedoch bei dieser Versuchsanordnung nicht verändert. Es wird in diesem Fall noch Elektricität nachströmen. Die hinzugefügte Capacität addiert sich in diesem Falle auch nicht zur Maschinencapacität. Nach den vorliegenden Bestimmungen ist die Capacität der Maschine nahezu 44 elektrostatische Einheiten, und da diejenige des Kondensators 21,2 elektrostatische Einheiten ist, müsste die Beobachtung den Wert 65 statt 109 ergeben haben.

Figur 7.



Ich verband nun die eine Kugel der Funkenstrecke mit dem negativen Maschinenpol durch die Rolle mit Selbstinduktion. Die andere Kugel war durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet, ebenso der positive Maschinenpol. Die Capacitätsbestimmung ergab:

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektrometer Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Berechnete Capacität
157	41	181	38,2	57,9

Die Selbstinduktion verlängert hier die Oscillationsdauer der Schwingungen, welche herrühren von der Maschine. Es wird dadurch ein stärkeres Nachströmen der Elektricität auftreten.

Die beobachtete Capacität ist auch grösser wie bei den vorigen Versuchen, wo keine grosse Selbstinduktion in den Stromkreis eingeschaltet war. Schaltete ich einen Kondensator an die isolierte Kugel des Funkenmikrometers, so ergab sich keine Addition der angehängten Capacität zur Maschinencapacität. Es zeigen dieses die beobachteten Werte:

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Berechnete Capacität
160	23	167	48,2	109,6

Ersetzte ich die Selbstinduktion bei der vorigen Versuchsanordnung durch einen sehr grossen Wasserwiderstand, so veränderte dieser Widerstand die oscillatorische Entladung in eine aperiodische Entladung. — Es wird dann kein Nachströmen der Elektricität mehr stattfinden. Es ergab sich denn auch bei dem Zuschalten des Kondensators eine Addition der Kondensatorcapacität zu derjenigen der Maschine. Es ist dieses aus folgender Tabelle ersichtlich:

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Angehängte Capacität	Berechnete Capacität
157	91	196,2	38,8	—	20,7
162	54	232,3	40,2	21,2	40,7

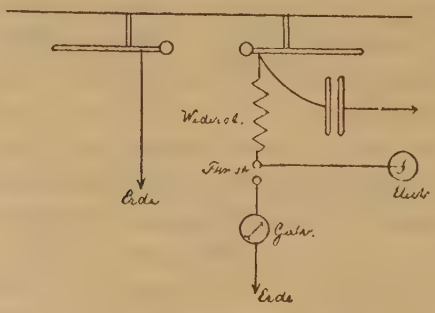
Es bestätigen diese Versuche die oben ausgesprochene Ansicht, dass die Oscillationsdauer von Einfluss auf die Capacität ist. Durch Vorschalten des grossen Widerstandes vor die Funkenstrecke erhält man eine einfache Entladung. Schaltet man nun den Kondensator ein, so werden wieder Oscillationen auftreten.

Die Dauer der Oscillationen wird jedoch infolge des vorgeschalteten Widerstandes eine kurze sein. In diesem Fall wird dann das Nachströmen der Elektricität

die Beobachtung wenig oder gar nicht beeinflussen. Die Voraussetzung, dass die Maschinencapacität eine mittelgrosse sei, bestätigte sich ebenfalls. Die Capacität der rotierenden Scheibe war auf 25 elektrostatische Einheiten berechnet worden. Dass die Bestimmung den kleinsten Wert von 20 elektrostatischen Einheiten ergab, ist erklärlich, da ja nur der Teil der Scheibe, welcher sich gegenüber den Spitzen und die Teile, welche sich in der Nähe der letzteren befinden, in Frage kommen.

Bei den vorigen Versuchen war der Plattenkondensator hinter den Widerstand geschaltet, d. h. mit der isolierten Elektrodenkugel der Funkenstrecke direkt verbunden. Wurde er jedoch vor dem Widerstand eingeschaltet, d. h. an die Maschine direkt gelegt, so erhielt ich andere Erscheinungen. Ich untersuchte das näher, indem ich verschiedene Kondensatoren vor den Widerstand schaltete und dann Capacitätsbestimmungen ausführte. Das Schaltungschema war bei diesem Versuch das folgende.

Figur 8.



Der negative Maschinenpol war wieder mittels eines grossen Widerstandes mit der einen Elektrodenkugel der Funkenstrecke verbunden. Die andere Elektrodenkugel war durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet,

ebenso der andere Maschinenpol. Der Kondensator war hier jedoch vor dem Widerstand direkt mit der Maschine verbunden. Der bei diesen Versuchen benutzte Widerstand, bestehend aus einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, war bedeutend höher wie der Wasserwiderstand. Ich fand die folgenden Werte:

Funkenzahl	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Auschlag	Angehängte Capacität	Berechnete Capacität
105	203,7	67,8	—	37,6
85	220,1	69,5	14,2	45,4
82	256,4	67,6	101	42,5
2	295,8	70,5	Leydener Flaschen à 2000 E. St. Einheiten	158,9

Diese Versuche zeigten ganz andere Erscheinungen. Eine Addition der zugeschalteten Capacität zur Maschinencapacität fand nicht statt. Am deutlichsten war dieses zu erkennen bei der Beobachtung mit den Leydener Flaschen. Bei diesem Versuch war die Entladung in der Funkenstrecke eine stossweise, und verursachte dieselbe ein zischendes Geräusch. Wahrscheinlich trat hier Büschelentladung auf. Verkleinerte ich den Entladerabstand an der Maschine, so entluden die Leydener Flaschen sich durch dieselben, gleichzeitig trat in der Funkenstrecke ein schwacher Funken auf. Wurden die Entlader der Maschine zusammengeschoben, dass zwischen ihnen eine regelmässige Entladung der Flaschen stattfand, so zeigten sich bei verkleinerter Funkenstrecke sich kleine Fünkchen in derselben. Dieselben liessen auf Entladungen kurzer Osscillationsdauer schliessen. Das Potential stieg an, je grösser die zugeschaltete Capacität war.

Bei den vorigen Versuchen beobachtete ich ein desto höheres Potential, je grösser der vorgeschaltete Widerstand war. Nach G. Jaumann[1]) entsprechen den Versuchsanordnungen desto höhere Potentiale, je mehr die von der Maschine herrührenden Stromschwankungen, gedämpft werden. Die einzelnen Versuche bestätigen dieses. Wo grössere Widerstände zwischen Maschine und Funkenstrecke eingeschaltet waren, beobachtete ich höhere Potentiale.

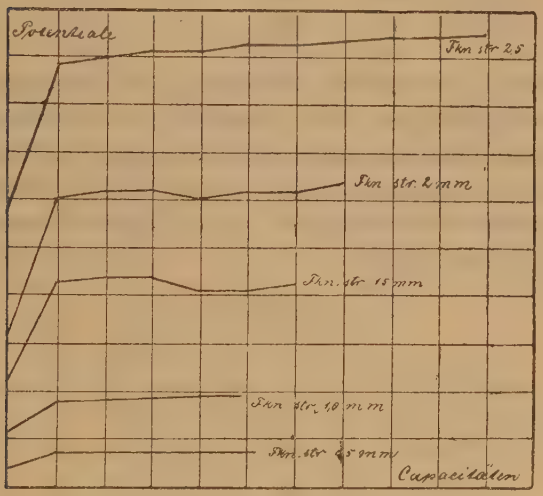
Die letzten Versuchsanordnungen zeigten noch folgende Erscheinung: Veränderte man die Funkenstrecke, so war die Potentialerhöhung bei dem Zuschalten ein und desselben Kondensators eine kleinere, bei kleinen Funkenstrecken wie bei grösseren. Ich stellte deswegen Versuchsreihen an, bei denen Kondensatoren gleicher Grösse nahezu 100 absoluten Einheiten bei verschiedenen Funkenstrecken zugeschaltet wurden. Es wurden nun die Stromintensität und das Potential bestimmt. Mit g werden der Galvanometer-, mit e der Elektrometerausschlag bezeichnet. Die erhaltenen Werte sind dann die folgenden:

Condensator	Funkenstrecke 0,5 mm		Funkenstrecke 1 mm		Funkenstrecke 1,5 mm		Funkenstrecke 2 mm		Funkenstrecke 2,5 mm	
	G.	E.	G.	E.	G.	E.	G.	E.	G.	E.
—	70,5	16,0	74,5	40.5	71.0	88,0	68,0	126,0	63,0	215
1	74,0	28,0	74,0	72.3	71,0	166,0	66.0	229,5	59,0	370,0
1 — 2	74,5	28,0	74,5	75,0	69,0	172,5	68,0	234,6	57,0	377,5
1 — 3	72,0	28,0	71,5	76,6	66,0	174.0	66.5	237,5	57,0	383,0
1 — 4	—	—	72.0	76,5	66,5	163,5	69,0	225,0	56,0	382,5
1 — 5	—	—	—	—	65,5	165,0	65,0	233,1	54,5	390,0
1 — 6	—	—	—	—	65,0	168,0	65,5	236,5	53,5	389,0
1 — 7	—	—	—	—	—	—	63,0	235,0	52,0	394,3
1 — 8	—	—	—	—	—	—	63,0	238,5	47,0	398,5
1 — 9	—	—	—	—	—	—	—	—	46,0	403,0
1—10	—	—	—	—	—	—	—	—	47,0	403,5

[1]) G. Jaumann, Sitzungsber. der k. k. Acd. der Wissenschaft. Wien. Bd. XCVII, p. 768 IIa 1888.

Die folgende Zeichnung stellt die Potentialänderungen graphisch dar. Als Ordinaten sind die Elektrometerausschläge abgetragen, während die gleich grossen Strecken auf der Abscissenaxe die nahezu gleichen Capacitätswerthe der eingeschalteten Condensatoren darstellen.

Figur 9.



Das Potential steigt nach dem Zuschalten des 1. Kondensators stark an, desto stärker, je grösser die Funkenstrecke ist. Werden mehr Kondensatoren zugeschaltet, so ist die Potentialerhöhung eine geringere. Die Stromintensität nimmt jedoch ab. Eine stärkere Abnahme der Intensität erhielt ich, indem ich hohe Jodschwefelkohlenstoffwiderstände vor die Funkenstrecke schaltete. Mit I werde der kleinste, mit IV der grösste Widerstand bezeichnet.

Die angegebenen Zahlen sind die beobachteten Ausschläge. — Es wurde mit und ohne vorgeschalteten Widerstand beobachtet.

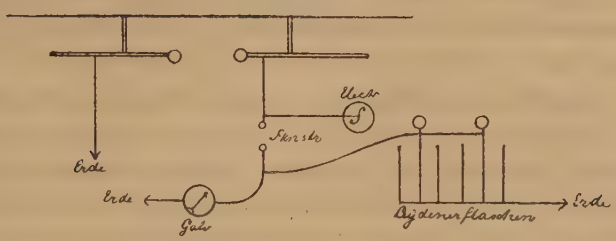
Wid.	Elektrometer-Ausschlag mit Widerstand	Elektrometer-Ausschläge ohne Widerstand	Differenz der Ausschläge	Galvanometer-Ausschlag mit Widerstand	Galvanometer-Ausschlag ohne Widerstand	Differenz der Ausschläge
I.	180,5	167,0	13,5	51,0	53,0	2
II.	183,3	165,7	17,6	25,0	49,0	24
III.	184,8	166,0	20,8	21,0	48,0	27
IV.	192,0	164,0	26,0	17,5	49,0	31,5

Auch hier machte sich infolge der Dämpfung der Stromschwankungen eine Potentialerhöhung bemerkbar. Trägt man diese Stromintensitätsänderungen und Potentialänderungen graphisch auf, so ergiebt sich eine bestimmte Abhängigkeit von einander. Die folgende Curve zeigt das graphische Bild.

Figur 10.

Ich untersuchte nun, ob die Oscillationen in der Erdleitung von Einfluss auf die Capacität der Maschine seien. Durch Anhängen von grossen Kondensatoren sowie Einschaltung einer Rolle mit grosser Selbstinduktion suchte ich die Oscillationsdauer dieser Schwingungen zu vergrössern.

Figur 11.



Der negative Maschinenpol war mit der einen Elektrode der Funkenstrecke verbunden, die andere Elektrode durch das Galvanometer zur Erde abgeleitet. An die Erdleitung vor dem Galvanometer waren zwei Leydener Flaschen von einer Capacität von je 1000 elektrostatischen Einheiten angehängt. Hierdurch wurde die Oscillationsdauer der Schwingungen, welche in der Erdleitung auftraten, verlängert. Die Maschinen-Capacität hatte jedoch nahezu denselben Wert wie der schon früher beobachtete.

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektr. Ausschlag	Galv. Ausschlag	Capacität berechnet
185	77	144	53,3	47,8

Bei diesem Versuch waren die Leydener Flaschen direkt mit der Erdleitung verbunden. War die Verbindung mittels grosser Selbstinduktion hergestellt, so blieben die Werte dieselben.

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektr. Ausschlag	Galv. Ausschlag	Capacität berechnet
159	57	140	39,5	48,8

Die Leydener Flaschen wurden nun abgehängt und zwischen Funkenstrecke und Galvanometer die Rolle mit grosser Selbstinduktion eingeschaltet. Die Beobachtung ergab dieselben Werte.

Touren-Zahl	Funken-Zahl	Elektr. Ausschlag	Galv. Ausschlag	Capacität berechnet
172	70	135	47,2	47,7

Bei allen drei Versuchen ist die Capacität konstant geblieben. Es haben die Oscillationen der Erdleitung keinen Einfluss auf dieselbe. Auf das Galvanometer übte die Vergrösserung der Selbstinduktion ebenfalls keinen Einfluss aus. Die Funkenzahlen ändern sich, jedoch rührt dieses her von dem unregelmässigen Gang der Maschine, denn gleichzeitig mit der Abnahme der Funkenzahl nimmt der Galvanometer-Ausschlag ab.

Die Capacität der Maschine könnte nun noch abhängig sein von dem Abstand der Entlader an der Maschine. Ich führte deswegen Bestimmungen aus, bei denen der Abstand der Entlader an der Maschine geändert wurde; das Elektrometer schaltete ich bei diesen Versuchen nicht aus. Es zeigte sich jedoch, dass die Entlader in verschiedener Entfernung von einander die Capacität nicht beeinflussen.

In der folgenden Tabelle sind die beobachteten Werte angeführt:

Entlader-Abstand in cm	Funken-zahl	i in absolut. Einheiten	P in absolut. Einheiten	Capacität berechnet
0,2	39	36971	8,95	105,9
4,0	40	36504	9,01	101,3
5,0	35	34750	9,35	105,9
10,0	37	35100	9,08	95,2
20	36	38960	9,07	118,3
20	40	37912	8,95	105,8
28	42	39080	9,46	82,0

Von K. E. F. Schmidt und H. Rühlmann[1]) ist

[1]) K. Schmidt und H. Rühlmann, Wied. Annalen 56, 1895 pag. 167.

eine Mehrleistung der Influenzmaschine gefunden bei Vergrösserung der Belege der festen Scheibe und Vermehrung der Zahl der Saugspitzen. Der Belag der festen Scheibe war bei der von mir benutzen Influenzmaschine sektorförmig. Ich vergrösserte denselben, indem ich ihn mit einem halbkreisförmigen Papier bedeckte. Ich erzielte damit die grösste Ausdehnung des Beleges. Die Bestimmung ergab eine Mehrleistung bis zu 9 Prozent. Die Galvanometer-Ausschläge pro Tour waren die folgenden:

Galv. Ausschlag bei vergrössertem Belag 0,237.
„ „ „ „ gewöhnlichem „ 0,219.

Es wurden nun Beobachtungen mit vermehrter und verminderter Spitzenzahl angestellt. Um auch den Fall sehr vieler Spitzen zu berücksichtigen, ersetzte ich dieselben durch einen Staniolstreifen von 8 cm Länge. Ich fand für die verschiedenen Versuchsanordnungen:

Staniolstreifen Galv. Ausschlag per Tour 0,300
8 Spitzen „ „ „ „ 0,255
1 „ „ „ „ „ 0,131

Es zeigte sich auch hier eine Mehrleistung. Einen merkbaren Einfluss auf die Capacität der Maschine hatte jedoch diese Veränderung der Spitzen nicht. Eine angestellte Capacitätsbestimmung ergab:

Staniolstreifen-Cap. 64,4
16 Spitzen „ 34,7
8 „ „ 36,8
1 „ „ 31,0

Der Staniolstreifen erhöhte die Capacität bedeutend. Während der Rotation der Maschine bleibt der Staniolstreifen nicht in senkrechter Richtung zur Scheiben-Oberfläche stehen, sondern neigt sich etwas in deren Drehrichtung. Die Folge ist, dass er dann mit der Scheibe einen Kondensator bildet. Hierin dürfte der Grund gelegen sein für die beobachtete grosse Capacität.

Ich führte nun noch Capacitätsbestimmungen aus, bei denen eine ältere Form der Holtz'schen Maschine und eine Reibungselektrisiermaschine benutzt wurde.

Die ältere Form der Holtz'schen Maschine war eine solche wie sie vom Mechaniker Borchhardt in Hannover ausgeführt wurde. Dieselbe musste, da sie sich nicht selbst erregte, vor jedem Versuch erregt werden. Das Nachströmen suchte ich durch Einschalten hoher Wasserwiderstände zwischen Maschine und Funkenstrecke zu verhindern. Der kleinste Widerstand sei mit I der grösste mit IV bezeichnet. Die Beobachtung ergab die folgenden Werte:

Widerst.	Elektr. Ausschlag	Galv. Ausschlag	Funken-Zahl	Berechn. Capacität
I.	189,4	89,0	90	63,9
II.	216,4	84,7	83	57,2
III.	229,0	87,6	90	53,1
IV.	246,8	85,0	94	47,7
V.	252,2	85,0	81	54,3

Es hatte diese Maschine eine höhere Capacität, sie beträgt nahezu 50 elektrostatischer Einheiten. — Es zeigte sich auch hier die Potentialerhöhung mit zunehmender Dämpfung der Stromschwankungen durch die verschiedenen Widerstände.

Die Reibungselektrisiermaschine war eine solche, wie sie von Winter in Wien gebaut wurde, mit einem Scheibendurchmesser von ungefähr 60 cm. Eine Capacitätsbestimmung ergab einen Wert von 121 elektrostatischen Einheiten. Ich entfernte nun den Konduktor und die Aufsaugevorrichtung. Die Capacität der beiden entfernten Teile war ungefähr auf 20 El. S. Einh. berechnet worden. Die Aufsaugevorrichtung wurde durch Spitzen ersetzt. Das Elektrometer war bei

diesen Versuchen ausgeschaltet. Die Beobachtung ergab die folgenden Werte.

Funkenzahl pro Sekunde	Elektrometer-Ausschlag	Galvanometer-Ausschlag	Berechnete Capacität
Staniolstreifen von 24 cm Länge und 2 cm Breite			
33	141,0	20,0	42,1
Sehr viele Spitzen befestigt auf einem Brettchen von 24 cm Länge und 3 cm Breite			
32	141,0	18,0	39,2
15 Spitzen verteilt über eine Länge von 22 cm			
32	141,0	19,0	40,7
3 Spitzen			
32	141,0	19,0	41,3
1 Spitze			
32	157	15,0	31,0

Die Zahl der Spitzen zeigte auch hier keinen Einfluss auf die Capacität der Maschine. Die Werte, wlche hier für die Capacität gefunden wurden, sind erheblich kleiner, wie der vorhergehende Wert von 121 elektrostatischen Einheiten. Konduktor und Aufsaugevorrichtung erhöhen demnach die Capacität der Maschine bedeutend. Die Spitzen waren der Scheibe möglichst nahe gerückt. Eine Spitze in grosser Entfernung bis zu 3—4 Decimeter gehalten, erzeugte noch einen regelmässigen kräftigen Funkenstrom in der Funkenstrecke. Es scheint demnach die Elektricität von allen Teilen der Scheibe nach den Spitzen hinzuströmen. Hierdurch dürften sich die nur geringen Differenzen der Galvanometerausschläge erklären, während doch die Zahl der Spitzen erheblich variirt

wurde. Das Elektroskop zeigte dann auch, auf der Seite der Scheibe, wo kein Absaugen der Elektricität stattfand, einen kleineren Ausschlag, als dort, wo dieselbe abströmte.

Die Hauptergebnisse der vorstehenden Arbeit sind:

1) Eine Holtz'sche Maschine neuerer Konstruktion mit einem Scheibendurchmesser von 40 cm, besitzt eine mittelgrosse Capacität von nahezu 20 elektrostatischen Einheiten. Die Scheibe hat die Hauptcapacität, man erhält nur dann richtige Werte, wenn die Oscillationsdauer der Entladungen eine kurze ist. Es wird dann die nachströmende Elektricität aus den Belegen der festen Scheibe die Beobachtung nicht beeinflussen.

2) Eine Vermehrung der Spitzen vermehrt wohl die Leistung der Maschine, hat jedoch keinen Einfluss auf deren Capacität.

3) Die ältere Form der Holtz'schen Maschine mit demselben Scheibendurchmesser hat eine grössere Capacität; dieselbe ist ungefähr 50 elektrostatische Einheiten.

4) Bei der Reibungselektrisiermaschine haben die Konduktoren die Hauptcapacität. Die Gesamtcapacität ist ungefähr das 5fache derjenigen der Holtz'schen Maschine.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann für die Anregung zu vorstehender Arbeit und seine stete Hülfe, sowie Herrn Assistenten Dr. H. Th. Simon für die freundliche Unterstützung mit Rat und That, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Emil, Carl, Heinrich Füllner, evangelischer Konfession, wurde am 8. August 1871 zu Söllingen im Herzogtum Braunschweig, geboren als Sohn des Fabrikdirektors Emil Füllner und seiner Ehefrau Auguste, geborene Schnause. Nachdem meine Eltern nach den Niederlanden übergesiedelt waren, besuchte ich die Hoogere Burgerschool mit 5jährigen Kursus zu Amsterdam, welche ich mit dem Reifezeugnis im April 1890 verliess, um mich dem Studium der Elektrotechnik zu widmen. Vom Oktober 1890 bis Oktober 1892 studierte ich in Hannover, vom Herbst 1892 bis Herbst 1893 in Darmstadt. Ich ging dann nach der Universität Erlangen, um mich dem Studium der Physik zu widmen. Dort wurde ich behufs Erlangung der Doktorwürde am 26. Februar 1896 exmatrikuliert.